

“十二五”国家重点图书出版规划项目



海河流域水循环演变机理与水资源高效利用丛书

社会水循环 原理与调控

王建华 王浩等著



科学出版社

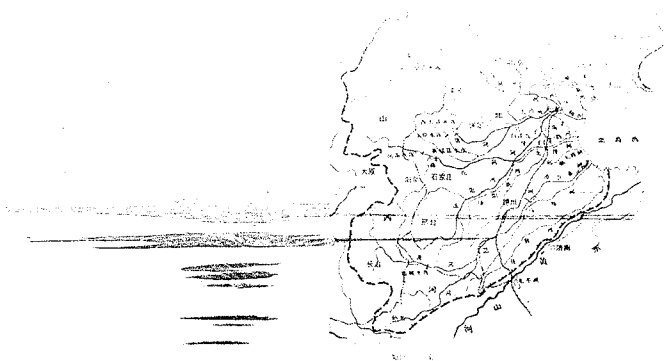
“十二五”国家重点图书出版规划项目



海河流域水循环演变机理与水资源高效利用丛书

社会水循环 原理与调控

王建华, 王浩等著



科学出版社

北京

正本			
日期	年	月	日
日期	年	月	日
日期	年	月	日
姓名			

内 容 简 介

本书的主要内容包括对社会水循环的基础知识、研究现状与进展的论述;“自然-社会”二元水循环模式及耦合机制;社会水循环系统结构、动力机制、通量演化机制与规律;工业、农业、生活、第三产业和人工生态等行业用水需水基本原理和节水减污的调控机制;国内外城市水循环演化规律和城市单元用水系统分析;城市水循环系统演变的影响因素及其调控的机制与策略;流域、行政区域、城市单元等不同尺度社会水循环过程模拟模型的研发,并在海河流域相关单元的实证研究等。

本书可供流域与区域水循环、水资源管理、水资源配置与高效利用、水资源保护和节水型社会建设等领域的工作人员,以及水文、水资源、给水与排水相关专业的科研人员 and 高等院校师生阅读、参考。

图书在版编目(CIP)数据

社会水循环原理与调控 / 王建华等著. —北京: 科学出版社, 2014. 1
(海河流域水循环演变机理与水资源高效利用丛书)

“十二五”国家重点图书出版规划项目

ISBN 978-7-03-038056-2

I. 社… II. 王… III. 海河-流域-水循环系统-研究 IV. TV213.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 136346 号

责任编辑: 李 敏 张 震 / 责任校对: 宣 慧

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 王 浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 1 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2014 年 1 月第一次印刷 印张: 37 1/2 插页: 3

字数: 1 000 000

定价: 228.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

总 序

流域水循环是水资源形成、演化的客观基础,也是水环境与生态系统演化的主导驱动因子。水资源问题不论其表现形式如何,都可以归结为流域水循环分项过程或其伴生过程演变导致的失衡问题;为解决水资源问题开展的各类水事活动,本质上均是针对流域“自然-社会”二元水循环分项或其伴生过程实施的基于目标导向的人工调控行为。现代环境下,受人类活动和气候变化的综合作用与影响,流域水循环朝着更加剧烈和复杂的方向演变,致使许多国家和地区面临着更加突出的水短缺、水污染和生态退化问题。揭示变化环境下的流域水循环演变机理并发现演变规律,寻找以水资源高效利用为核心的水循环多维均衡调控路径,是解决复杂水资源问题的科学基础,也是当前水文、水资源领域重大的前沿基础科学命题。

受人口规模、经济社会发展压力和水资源本底条件的影响,中国是世界上水循环演变最剧烈、水资源问题最突出的国家之一,其中又以海河流域最为严重和典型。海河流域人均径流性水资源居全国十大一级流域之末,流域内人口稠密、生产发达,经济社会需求模数居全国前列,流域水资源衰减问题十分突出,不同行业用水竞争激烈,环境容量与排污量矛盾尖锐,水资源短缺、水环境污染和水生态退化问题极其严重。为建立人类活动干扰下的流域水循环演化基础认知模式,揭示流域水循环及其伴生过程演变机理与规律,从而为流域治水和生态环境保护实践提供基础科技支撑,2006年科学技术部批准设立了国家重点基础研究发展计划(973计划)项目“海河流域水循环演变机理与水资源高效利用”(编号:2006CB403400)。项目下设8个课题,力图建立起人类活动密集缺水流域二元水循环演化的基础理论,认知流域水循环及其伴生的水化学、水生态过程演化的机理,构建流域水循环及其伴生过程的综合模型系统,揭示流域水资源、水生态与水环境演变的客观规律,继而在科学评价流域资源利用效率的基础上,提出城市和农业水资源高效利用与流域水循环整体调控的标准与模式,为强人类活动严重缺水流域的水循环演变认知与调控奠定科学基础,增强中国缺水地区水安全保障的基础科学支持能力。

通过5年的联合攻关,项目取得了6方面的主要成果:一是揭示了强人类活动影响下的流域水循环与水资源演变机理;二是辨析了与水循环伴生的流域水化学与生态过程演化

的原理和驱动机制；三是创新形成了流域“自然-社会”二元水循环及其伴生过程的综合模拟与预测技术；四是发现了变化环境下的海河流域水资源与生态环境演化规律；五是明晰了海河流域多尺度城市与农业高效用水的机理与路径；六是构建了海河流域水循环多维临界整体调控理论、阈值与模式。项目在2010年顺利通过科学技术部的验收，且在同批验收的资源环境领域973计划项目中位居前列。目前该项目的部分成果已获得了多项省部级科技进步一等奖。总体来看，在项目实施过程中和项目完成后的近一年时间内，许多成果已经在国家和地方重大治水实践中得到了很好的应用，为流域水资源管理与生态环境治理提供了基础支撑，所蕴藏的生态环境和经济社会效益开始逐步显露；同时项目的实施在促进中国水循环模拟与调控基础研究的发展以及提升中国水科学研究的国际地位等方面也发挥了重要的作用和积极的影响。

本项目部分研究成果已通过科技论文的形式进行了一定程度的传播，为将项目研究成果进行全面、系统和集中展示，项目专家组决定以各个课题为单元，将取得的主要成果集结成为丛书，陆续出版，以更好地实现研究成果和科学知识的社会共享，同时也期望能够得到来自各方的指正和交流。

最后特别要说的是，本项目从设立到实施，得到了科学技术部、水利部等有关部门以及众多不同领域专家的悉心关怀和大力支持，项目所取得的每一点进展、每一项成果与之都是密不可分的，借此机会向给予我们诸多帮助的部门和专家表达最诚挚的感谢。

是为序。

海河973计划项目首席科学家
流域水循环模拟与调控国家重点实验室主任
中国工程院院士



2011年10月10日

序

随着全球人口的快速增长以及经济社会活动范围的拓展,地球表层物质与能量的自然循环过程被强烈扰动,水循环过程也不例外。大规模的工农业生产、城市化与生态建设以及人工取、用、耗、排水等活动,无时不在改变着天然水循环的大气、地表、土壤和地下各个过程,致使现代环境下的流域水循环呈现出明显的“自然-社会”二元化特性。而在水循环的研究方面,以自然水循环为基本对象的水文学历经数百年的发展,目前已形成较为完善的学科体系。近几十年来,国内外水科学工作者在研究变化环境下自然水循环演变机理与规律的同时,也越来越关注经济社会用水和社会水循环的研究。节水型社会建设、从供水管理为主转向需水管理为主的水资源管理模式的确立,都将社会水循环原理与调控作为其重要的科学基础之一,水科学工作者从不同角度开展了大量探索性的工作。但迄今为止,社会水循环原理的认知及其知识体系的构建仍滞后于节水减排和需水管理的现实需求,亟须我们以社会水循环为基本对象,开展基础原理研究和学科知识体系的构建,并结合节水型社会建设和最严格水资源管理等国家治水实践,研究社会水循环调控的具体路径与措施。

该书作者在多年从事二元水循环应用基础研究和水资源规划管理研究的基础上,面向国家实行最严格水资源管理制度和建设节水防污型社会的现实需要,依托国家 973 计划项目、国家自然科学基金创新群体项目和重点项目等,系统开展社会水循环原理与调控应用基础研究,撰写了这本兼具科学价值与实践意义的专著。其主要贡献在于三方面:一是在学科层面,明确了水文学和水资源学研究对象的差异,即水文学研究的对象是自然水循环,水资源学研究的对象是社会水循环;二是在应用基础研究层面,初步形成了社会水循环及其调控的基础理论框架,探索性地构建了流域、行政区域和城市单元三个尺度的社会水循环模拟模型;三是在调控管理层面,创新形成了社会水循环系统整体调控模式,系统研究了分行业用水原理,提出了典型流域和区域社会水循环调控阈值,许多成果已经广泛应用于国家和地方节水型社会建设、水资源需求管理和最严格水资源管理实践。

由于水资源开发利用的外部性问题已经发展成为当前我国乃至许多其他国家与地区水

资源开发利用的主要矛盾，可以预言，社会水循环及其调控的科学问题必将成为未来一个时期水资源研究的方向与重点，该书的学科意义和应用价值将会不断显现出来。

中国工程院院士



2013 年 10 月

前 言

自人类社会开发利用水资源以来,耦合于“降水-产流-蒸发-排泄”自然主循环的社会侧枝水循环便开始形成,它以“取-供-用-排”为基本环节。随着经济社会需水和社会水循环通量的增加,社会水循环通量的保障及相应的生态环境外部性问题开始显现,成为当前水资源的主要矛盾。

社会水循环是指为实现特定的经济社会服务功能,人类从自然界有限水资源中获取的水分在经济社会系统中的赋存、运移、转化的过程。社会水循环是人类在开发利用水资源的实践活动中提出来的。一方面是缺乏对经济社会系统用水与需水的指导,导致需水管理中的预测与实际的节水型社会的进步不相匹配;另一方面是对需水管理和建设节水型社会缺少具体理论方面的指导。因此,社会水循环既是变化环境下认识水循环结构、通量和特性的科学总结,也是在自然驱动力与人类活动驱动力的双重驱动下的水分在流域地表介质中循环转化的一种认知模式。

全书共分14章。第1章概述了本书研究的背景和意义,综述了社会水循环研究的现状与进展,阐述了本书研究的目标、内容和技术路线。第2~3章在分析“自然-社会”二元水循环认知模式和耦合机制的基础上,对社会水循环系统结构和特征进行了解析,提出社会水循环的二维动力机制是用水需求及对应的“社会势”;提出社会水循环调控的目标是内部的安全性和外部的低影响性,调控的关键环节是取水端、用水过程和排水端,调控的路径是总量控制与定额管理相结合。第4章在对社会水循环通量演化机制进行研究的基础上,对包括径流性水资源和有效降水在内的社会水循环通量及其演化规律进行了评价和分析。第5~9章在对工业、农业、生活、第三产业和人工生态等行业用水过程分析的基础上,深入解析了各行业用水需水基本原理和节水减污的调控机制。第10章基于虚拟水的概念,计算了典型年我国南北方及各区域间的虚拟水通量关系,从社会水循环的角度分析了形成水以真实形式和虚拟形式在我国南北方之间逆向流动的主要原因。第11~13章研发了流域、行政区域、城市单元等不同尺度社会水循环过程模拟模型,在海河流域的相关单元进行了实证研究,对海河流域、天津市和典型城市单元的社会水循环过程进行了系统模拟,根据模型各自的定位,其中流域和区域社会水循环模拟模型是嵌套于分布式自

然水循环的半分布式模拟模型。城市单元社会水循环模拟模型分为两部分：一是城市供水调度模拟模型，力图通过供水过程和精细化过程模拟提高水量、水压和水质保证率，并降低供水能耗与水耗；二是城市水文模型与城市排水体系耦合的城市排水调度模拟模型，力图通过城市排水过程的精细化模拟，为城市排水调控提供决策支持，以降低城市雨洪灾害风险。最后基于上述三个尺度社会水循环模拟，提出了相应尺度社会水循环调控的方案和阈值。第14章阐述了对社会水循环研究的总体结论与展望。

本书的研究工作得到了国家自然科学基金重点课题(40830637)、国家自然科学基金创新群体研究基金项目(51021066)、国家自然科学基金面上课题(51279208)和财政部“节水型社会建设”专项“我国节水型社会建设理论技术与实践应用研究”(水综节水[2006]50号)的共同资助。本书编写的具体分工为第1章由王浩、王建华、肖伟华和周毓彦执笔；第2章由王浩、王建华、肖伟华和邵薇薇执笔；第3章由王建华、肖伟华和王浩执笔；第4章由王建华、王浩和肖伟华执笔；第5章由王浩、李海红和王建华执笔；第6章由王浩、赵勇、杨贵羽、王建华、翟家齐、肖伟华和牛存稳执笔；第7章由王浩、褚俊英和王建华执笔；第8章由王浩、刘家宏和王建华执笔；第9章由王建华、王浩和高学睿执笔；第10章由马静、王建华和肖伟华执笔；第11章由王建华、胡鹏、王浩和严子奇执笔；第12章由王建华、桑学锋和王浩执笔；第13章由王建华、曹尚兵和肖伟华执笔；第14章由王浩和王建华执笔。全书由王浩与王建华统稿。

本书在研究和写作过程中，得到了水利部和中国工程院有关领导和研究课题组成员的大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢！感谢钱正英院士等国内知名专家的指导与关怀！

由于社会水循环问题具有复杂性，且属于认识水循环变化规律的新方向，加之我们时间和水平有限，书中疏漏在所难免，敬请读者批评指正。

作者
2013年10月

目 录

总序

序

前言

第1章 绪论	1
1.1 社会水循环的研究背景	1
1.2 社会水循环研究进展	2
1.2.1 国内研究进展	3
1.2.2 国外研究进展	8
1.2.3 国内外研究对比	13
1.2.4 研究发展趋势	14
1.3 研究目标、内容与技术路线	15
1.3.1 研究目标	15
1.3.2 研究内容	15
1.3.3 研究技术路线	17
第2章 “自然-社会”二元水循环模式及耦合机制	20
2.1 变化环境下的自然水循环	20
2.1.1 自然水循环基本过程	20
2.1.2 自然水循环主要功能	21
2.1.3 自然水循环演化动因	21
2.2 “自然-社会”二元水循环模式	22
2.2.1 二元水循环概念框架	22
2.2.2 二元水循环基本模式	23
2.2.3 二元水循环相互作用特征	26
2.3 “自然-社会”二元水循环耦合机制	27
2.3.1 二元水循环耦合过程	27
2.3.2 二元水循环耦合效应	28
2.3.3 海河流域二元水循环系统耦合	29

2.4	“自然-社会”二元水循环调控研究	31
2.4.1	二元水循环调控基础分析	31
2.4.2	二元水循环调控的关键问题	32
2.4.3	二元水循环与节水型社会建设	33
2.4.4	基于二元水循环的节水型社会建设要点	34
第3章	社会水循环系统结构解析与调控机制研究	37
3.1	社会水循环概念与特征解析	37
3.1.1	社会水循环内涵的相关界定	37
3.1.2	社会水循环概念与特征	38
3.2	社会水循环系统及其历史演进	39
3.2.1	原始文明的社会水循环	39
3.2.2	农业文明的社会水循环	39
3.2.3	工业文明的社会水循环系统	41
3.2.4	后工业文明的社会水循环系统	42
3.3	社会水循环系统结构与过程分析	42
3.3.1	取(供)水过程	44
3.3.2	用(耗)水过程	45
3.3.3	排水过程	46
3.3.4	再生回用过程	46
3.4	社会水循环驱动机制	47
3.5	社会水循环系统调控机制	48
3.5.1	社会水循环系统调控标的	48
3.5.2	社会水循环系统调控环节	50
3.5.3	社会水循环系统调控路径	51
3.6	社会水循环研究的学科与现实意义	53
3.6.1	社会水循环与自然水循环比较研究	53
3.6.2	社会水循环研究的学科意义	53
3.6.3	社会水循环研究的实践价值	55
第4章	社会水循环通量演化机制与规律	56
4.1	社会水循环通量概念	56
4.1.1	基本概念解析	56
4.1.2	社会水循环通量的分类	57
4.2	社会水循环通量演化的机制与规律	60

4.2.1	渐变机制	61
4.2.2	突变机制	62
4.3	世界及主要发达国家用水量演变	63
4.3.1	世界用水量历史演变	63
4.3.2	OECD 国家用水演变	65
4.3.3	美国用水量演变	68
4.3.4	日本用水演变	72
4.4	中国社会水循环通量演变	74
4.4.1	用水总量及其用水结构	74
4.4.2	有效降水量	76
4.4.3	中国不同地区用水演变分析	81
4.5	社会水循环通量的影响因子	84
4.5.1	水资源条件	84
4.5.2	人口	84
4.5.3	经济发展阶段	84
4.5.4	产业结构	87
4.5.5	科技水平	87
4.5.6	水管理	88
4.6	中国社会水循环通量发展预测	88
4.6.1	经济社会发展预测	88
4.6.2	资源环境约束分析	88
4.6.3	用水总量演变趋势	90
4.6.4	用水结构演变趋势	90
第5章	工业用水系统解析及其调控机理	91
5.1	工业用水原理与特征分析	91
5.1.1	工业用水分类	91
5.1.2	工业用水的相关概念	91
5.1.3	工业用水的服务功能	92
5.1.4	工业用水特征分析	94
5.1.5	工业用水效应分析	99
5.2	工业用水系统的发展与驱动机制	99
5.2.1	工业用水循环类型	99
5.2.2	工业用水系统的发展	101
5.2.3	工业用水的驱动机制	103

5.3 典型高用水行业的用水	105
5.3.1 火力发电企业用水系统	105
5.3.2 石油化工企业水循环系统	107
5.3.3 造纸企业水循环系统	109
5.3.4 钢铁企业水循环系统	111
5.3.5 纺织印染企业水循环系统	112
5.3.6 食品加工企业水循环系统	113
5.4 世界工业用水的发展	114
5.4.1 世界工业的发展	114
5.4.2 世界工业用水的总体趋势	117
5.4.3 工业用水发展宏观影响因子	122
5.5 我国工业用水与排水的演变分析	124
5.5.1 我国工业发展历程	124
5.5.2 我国工业发展的基本特点	124
5.5.3 我国工业用水演变历程	127
5.5.4 我国工业用水现状总体评价	131
5.6 工业用水影响因子及我国需水预测	136
5.6.1 工业用水影响因子研究	136
5.6.2 我国工业用水发展趋势的宏观预判	141
5.7 我国工业用水系统调控途径与模式	148
5.7.1 调控目标与原则	148
5.7.2 我国工业用水区域调控模式	149
5.7.3 我国工业用水调控主要措施	150
第6章 农业用水系统原理及其安全调控	153
6.1 农业水循环原理与特性	153
6.1.1 农业水循环系统发展与结构	153
6.1.2 农业水循环原理	154
6.1.3 农业水循环特性	158
6.1.4 雨养农业与灌溉农业	163
6.2 农业水循环过程解析与效率评价	165
6.2.1 雨养农业水循环系统结构与过程	165
6.2.2 灌区农业水循环系统结构与过程	168
6.2.3 基于水循环的农业用水效率评价	171
6.3 农业水循环伴生过程与面源污染问题	177

6.3.1 农业水循环伴生过程与面源污染	177
6.3.2 我国农业面源污染现状	181
6.3.3 我国农业面源污染演变规律	185
6.3.4 我国农业面源污染防治	187
6.4 我国与世界典型国家农业水循环通量及其构成演变	190
6.4.1 农业水循环通量	190
6.4.2 我国农业水循环通量结构	191
6.4.3 我国农业用水量演变规律	199
6.4.4 世界典型国家农业用水量演变	204
6.4.5 农业水循环通量影响因子与演变规律	211
6.5 面向粮食安全保障的农业用水需求预测	215
6.5.1 保障我国粮食安全的需求分析	215
6.5.2 我国耕地需求预测	223
6.5.3 保障粮食安全的农业用水需求量	225
6.5.4 农业可利用水量分析	229
6.6 我国农业水循环系统安全调控	230
6.6.1 农业水循环调控目标与调控原则	230
6.6.2 我国农业水循环调控途径与策略	231
6.6.3 农业水循环调控的管理策略	233
第7章 生活用水系统解析及其调控机理	235
7.1 生活用水结构及其特性分析	235
7.1.1 生活用水概念与基本构成	235
7.1.2 生活用水的特性分析	236
7.2 典型生活用水单元结构与过程解析	238
7.2.1 生活用水单元的发展及其水循环系统演化	238
7.2.2 典型生活用水系统单元水循环结构	241
7.2.3 典型生活水循环系统单元水量、水质演变过程	244
7.3 世界典型国家生活用水现状与演变分析	248
7.3.1 生活用水现状	248
7.3.2 生活用水演变趋势	253
7.4 生活用水的影响因子及其发展规律	254
7.4.1 生活用水的影响因子及其识别	254
7.4.2 生活用水的主要影响因子分析	255
7.4.3 不同终端用水的影响因子	260

7.4.4	生活用水发展规律	261
7.5	我国生活水循环系统现状及发展预测	268
7.5.1	我国生活水循环系统现状分析	268
7.5.2	我国生活用水演变分析	275
7.5.3	我国生活水循环系统发展预测	278
7.6	我国生活水循环系统调控机理与途径	282
7.6.1	调控机理	282
7.6.2	调控途径	285
第8章	人工景观生态系统用水原理及其建设模式	294
8.1	人工景观生态用水服务功能及需水特征	294
8.1.1	人工景观生态用水分类	294
8.1.2	人工景观生态用水的服务功能	296
8.1.3	人工景观生态用水特征与要求	297
8.2	国内外人工景观生态用水及其影响因子分析	299
8.2.1	国外部分城市人工景观生态用水概况	299
8.2.2	我国人工景观生态用水概况	300
8.2.3	人工景观生态用水影响因子	310
8.3	人工景观生态建设与用水规划基础理论	317
8.3.1	人工景观生态建设的目的和基本原则	317
8.3.2	基于可持续理念的人工景观用水规划理论	319
8.4	人工景观用水规划标准研究	329
8.4.1	水量标准	329
8.4.2	水质标准	331
8.4.3	安全标准	335
8.5	人工景观生态的系统建设模式与关键技术	335
8.5.1	人工景观生态用水系统的建设模式	335
8.5.2	人工景观生态系统建设的关键技术	337
第9章	第三产业用水系统原理及其安全调控	340
9.1	城市第三产业用水的结构与特性	340
9.1.1	第三产业的内涵	340
9.1.2	第三产业用水的分类	342
9.1.3	第三产业用水基本特征	350
9.2	城市第三产业用水的微观机理	355

9.2.1 个体行为驱动	355
9.2.2 宏观通量表征	360
9.3 典型行业水系统构成与过程分析	362
9.3.1 行业用水构成	362
9.3.2 取排水水质	369
9.3.3 中水利用	370
9.3.4 水价响应差异	372
9.4 城市第三产业用水的通量与构成特征	374
9.4.1 部分国家第三产业用水构成的比较	374
9.4.2 我国城市第三产业用水变化分析	375
9.4.3 我国不同区域城市第三产业用水的比较	377
9.4.4 我国直辖市产业用水结构变化分析	383
9.5 典型城市第三产业用水过程演变分析——以北京市为例	388
9.5.1 第三产业用水总量与演变	388
9.5.2 第三产业用水结构	389
9.5.3 第三产业用水效率	391
9.5.4 第三产业用水影响因素	393
9.6 城市第三产业用水系统调控的机制与途径	393
9.6.1 城市第三产业用水系统调控的层次化结构	393
9.6.2 城市第三产业用水系统调控的措施	396
第10章 虚拟水及其通量核算研究	402
10.1 虚拟水及其定量计算的理论基础	402
10.1.1 开展虚拟水研究的意义	402
10.1.2 相关概念及其定量计算方法	403
10.2 各国虚拟水贸易及水足迹比较	404
10.3 中国区域虚拟水通量核算基本思路	408
10.3.1 核算的必要性	408
10.3.2 核算思路	408
10.4 农产品供需平衡	410
10.4.1 1999年以来我国区域农产品生产	410
10.4.2 我国区域农产品消费	411
10.4.3 我国农产品进出口	412
10.4.4 我国农产品供需平衡	413
10.5 我国区域间虚拟水交换通量	414

10.5.1	主要农产品虚拟水含量	414
10.5.2	我国虚拟水国际贸易通量	415
10.5.3	区域间虚拟水交换通量	417
第 11 章	海河流域社会水循环模拟与调控	422
11.1	海河流域概况	422
11.1.1	自然地理与水文气象	422
11.1.2	高强度人类活动特点	429
11.1.3	主要水问题	431
11.2	海河流域社会水循环模拟模型	433
11.2.1	模型总体结构	434
11.2.2	DAMOS 模型	435
11.2.3	ROWAS 模型	440
11.2.4	WACM 模型	445
11.3	海河流域社会水循环调控方案及模拟结果	452
11.3.1	多维临界调控多层次递进方案设置	452
11.3.2	多维临界调控方案的比选与评价	454
11.3.3	总量控制指标分析	469
11.4	海河流域社会水循环调控措施	479
11.4.1	水资源配置工程	479
11.4.2	节水与非常规水源利用	479
11.4.3	水资源保护	484
11.4.4	实行最严格的水资源管理制度	488
第 12 章	天津市社会水循环模拟与调控	494
12.1	天津市基本情况	494
12.1.1	自然地理	494
12.1.2	经济社会	496
12.1.3	水资源及开发利用	496
12.1.4	水资源与水环境存在的问题	496
12.2	调控目标与原则	497
12.2.1	调控目标	497
12.2.2	调控原则	497
12.3	天津市社会水循环模拟及分析	498
12.3.1	全市二元水循环过程定量分析	498

12.3.2 全市主要水循环要素构成及定量分析	500
12.3.3 人工取用水过程中的供、用、耗、排通量	502
12.3.4 主要农作物耗用水特点及水分生产率	503
12.4 天津市水资源调控方案	508
12.4.1 区域取水总量调控方案	508
12.4.2 行业耗用水调控方案	510
12.4.3 水环境纳污控制调控方案	511
12.5 天津市水资源调控方案评估	513
12.5.1 水资源分析	513
12.5.2 ET 分析	513
12.5.3 生态环境分析	514
12.5.4 社会经济分析	514
第 13 章 城市单元社会水循环模拟与调控	515
13.1 城市水循环系统概述	515
13.1.1 城市水系统与城市水循环	515
13.1.2 城市水循环系统的基本特性	519
13.1.3 城市化的水循环效应	523
13.2 城市社会水循环供水系统模拟与调控	529
13.2.1 城市社会水循环供水系统	529
13.2.2 城市社会水循环供水系统模拟模型	532
13.2.3 城市社会水循环供水系统模拟与调控实例	541
13.3 城市社会水循环排水系统模拟与调控	548
13.3.1 城市社会水循环排水系统	548
13.3.2 城市社会水循环排水系统模拟模型	550
13.3.3 城市社会水循环排水系统模拟与调控实例	556
第 14 章 总结与展望	567
14.1 总结	567
14.2 展望	571
参考文献	573

第 1 章 | 绪 论

1.1 社会水循环的研究背景

天然状态下,受太阳能、重力势能、生物势能等能量的共同作用,水分子于垂直方向上在“大气—地表—土壤—地下”、水平方向上在“坡面—河道—海洋(尾闾湖泊)”之间循环往复,通过“搬运(溶解)—沉积(结晶)”作用改变物质分布并塑造地表形态,通过“河道汇流—水流演进”维持河流廊道、河口与近海生态系统,通过蒸腾参与“光合—呼吸作用”维持着地表陆生生态,通过“蒸发—凝结作用”调节地表的能量分布,从而成为支撑地球表面最为基本的循环过程之一,并在地球无机物质和有机生命的系统循环演变过程中扮演着十分重要的角色。

自人类社会开始开发利用水资源以来,天然的一元水循环结构被打破,形成了“自然—社会”二元水循环结构,即一个完整的陆域水循环系统是由流域“降水—坡面—河道—地下”为基本过程的自然主循环与区域“取水—供水—用水—排水”为基本过程的社会循环耦合组成,二者通量相互依存、过程相互影响。

社会水循环的形成,一方面,使得水资源的服务功能由自然生态和环境范畴拓展到社会和经济范畴,但同时由于社会水循环与自然水循环之间存在着通量此长彼消的动态依存关系,以及以水循环为载体的社会经济污染物的排入,水资源在发挥社会与经济服务功能的同时,自然生态与环境服务功能受到影响;另一方面,社会取、耗、排水通量不断增加,甚至会破坏自然主循环的基本生态和环境服务功能,如在我国海河流域,现状水资源开发利用已超过 100%,社会水循环的取、用、耗、排的通量过大,致使流域呈现出有河皆干、有水皆污、地下水超采、漏斗遍布的严峻态势。从我国的国情和水情出发,必须长期坚持建设节水防污型社会,对社会水循环实施有效、科学的调控,以维护自然水循环系统稳定,促进水资源的生态、环境、社会、经济全属性服务功能目标的协调实现。

社会水循环是一个宏观开放的系统,始端起于从自然水循环系统的取水或雨水直接利用,终端止于向自然水循环系统的排放或蒸、散发,中间通过入渗等过程与自然水循环系统紧密耦合。随着社会经济的不断发展,社会水循环系统随之演进。总结其演变和发展过程,初步可以得到四个方面的基本规律:一是径流性水分通量呈现出倒“U”形的演变过程。即随着社会经济发展,社会水循环通量表现出“快速增长—缓慢增长—零增长—缓慢下降”的宏观演变规律。在我国,社会水循环的径流性通量从新中国成立初期的 1000 多亿立方米增长到 2005 年的 5600 多亿立方米,目前已进入缓慢增长时期。二是循环路径不断延展。社会水循环的初期路径以“取水—用水—排水”为基本过程,中期以“取水—